

DOI: 10.11779/CJGE2024S20026

全钢质低碳基坑支护体系工程应用与碳排放分析

钟 铮^{1,2}, 陈锦剑², 王美华¹

(1. 上海建工集团股份有限公司, 上海 200080; 2. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200240)

摘要: 基于深基坑工程碳排放生命周期理论, 以上海某绿色科技示范楼项目为背景, 针对 PC 工法组合钢管桩围护结合预应力型钢组合支撑构成的全钢质低碳支护方案和混凝土常规支护方案的基坑生命周期碳排放进行定量计算与对比分析。研究结果表明: 全钢质支护体系的基坑生命周期总碳排放量为混凝土支护体系的 21%, 通过增加重复使用次数、选择低能耗机械、缩短运输距离等措施, 可进一步减少全钢质支护体系的碳排放量。

关键词: 全钢质支护体系; PC 工法组合钢管桩; 预应力型钢组合支撑; 碳排放分析

中图分类号: TU432 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2024)S2-0155-06

作者简介: 钟 铮(1981—), 男, 正高级工程师, 主要从事岩土工程设计与施工技术研究工作。E-mail: zhongzheng@scg.cn。

Engineering application and carbon emission analysis of all-steel low-carbon support system of foundation pits

ZHONG Zheng^{1,2}, CHEN Jinjian², WANG Meihua¹

(1. Shanghai Construction Group Co., Ltd., Shanghai 200080, China; 2. School of Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: Based on the life cycle theory of carbon emission of deep foundation pit engineering, a green technology demonstration building project in Shanghai is taken as the background, and the carbon emissions of the foundation pit during life cycle of the all-steel low-carbon support scheme composed of PC method combined steel pipe pile enclosure and prestressed steel composite support and the conventional concrete support scheme are quantitatively calculates and compared. The research results show that the total carbon emissions of the foundation pit during life cycle of the all-steel support system is 21% of that of the concrete support system. The carbon emissions of the all-steel support system can be further reduced by increasing the number of reuses, selecting low-energy consumption machinery, and shortening the transportation distance, etc.

Key words: all-steel support system; PC construction method combined steel pipe pile; prestressed steel composite support; carbon emission analysis

0 引言

当前全球气候变暖已成为人们对于生态环境关注的热点之一, 由于温室气体的大量排放导致全球气候变暖已经成为了人们的共识^[1]。中国是世界上最大的能源消费和温室气体排放国, 在全球节能减排工作中承担着重大任务, 为应对气候变化, 中国政府提出于 2030 年前后达到二氧化碳排放量峰值, 争取在 2060 年前实现碳中和^[2]。建筑业作为国民经济的支柱行业之一, 也是温室气体排放大户。当前中国建筑业的发展基本沿用“大量生产、大量消费、大量废弃”的粗放型增长方式, 造成了资源的严重浪费和环境的急剧恶化。据统计, 2020 年全国建筑全过程能耗总量为 22.7 亿 tce, 占全国能源消费总量的 45.5%; 2020 年全国建筑全过程碳排放总量为 50.8 亿 t CO₂, 占全国碳排放总量的 50.9%^[3]。因此, 建设领域低碳转型是中国实

现“双碳”目标的重要保障。深基坑工程作为建筑地下空间开发的前排兵, 必然成为在建筑全生命周期节能减排的关键环节之一。目前, 大多数深基坑工程仍采用钢筋混凝土为主、钢材为辅的传统支护体系, 作为临时受力结构, 其使用时间短、碳排放量大、不可回收等弊端日益凸显, 对全钢制低碳新型基坑支护体系的研发已成为深基坑低碳转型的优选方向之一。

1 深基坑支护方案

1.1 工程概况

背景工程是一幢地上 5 层、地下 2 层的绿色科技示范楼, 项目将绿色理念和技术贯穿于设计、建造、

基金项目: 上海市科学技术委员会科技计划项目(21DZ1203201); 上海建工集团股份有限公司重点科研项目(21JCSF-30)

收稿日期: 2024-06-21

运维全过程，争取实现建筑全生命周期“0碳”目标，项目效果图如图1所示。



图1 绿色科技示范楼项目效果图

Fig. 1 Rendering of green technology demonstration building project

基坑平面呈正方形，面积 2970 m^2 ，挖深 10.15 m，采用明挖顺作法施工。在基坑方案设计选型过程中主动融入绿色低碳理念，对混凝土常规支护体系及全钢质低碳支护体系进行比选，探索低碳建造新路径。

1.2 常规方案——混凝土支护体系

对于软土地区挖深 10 m 左右，周边环境有一定保护要求的深基坑，通常采用钻孔灌注排桩围护结合两道钢筋混凝土水平支撑作为基坑支护体系^[4]。本基坑工程采用混凝土常规支护体系的方案平面、剖面布置如图 2, 3 所示。



图2 常规支护方案平面图

Fig. 2 Plan diagram of conventional support scheme

由于钻孔灌注桩施工产生大量废弃泥浆，环保性能较差；且施工完成后无法回收，形成永久地下障碍物；此外，钢筋混凝土支撑不可循环使用，材料浪费严重，拆除时噪音、粉尘较大；同时，混凝土材料需要养护时间，工程周期较长。因此，基坑常规方案采用的混凝土支护体系不符合低碳发展理念及绿色节能要求，基坑建造亟待引入高效环保的新型支护体系。

1.3 低碳方案——全钢质支护体系

钢材作为工业化标准产品，具有轻质高强、施工

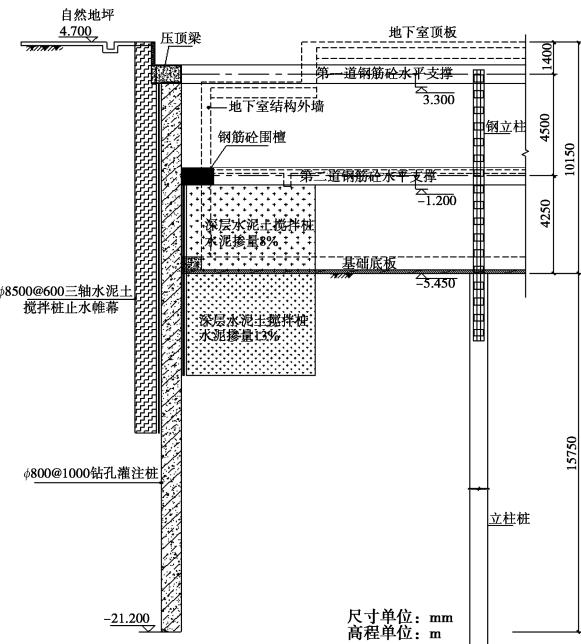


图3 常规支护方案剖面图

Fig. 3 Section diagram of conventional support scheme

速度快、可回收使用等优点，属于低碳节能、绿色环保型建材，符合中国“双碳”发展战略需求。

深基坑低碳方案充分利用钢材的性能优势，采用PC工法组合钢管桩围护结合两道预应力型钢组合支撑作为基坑支护体系。本基坑工程采用全钢质低碳支护体系的方案平面、剖面布置如图 4, 5 所示。

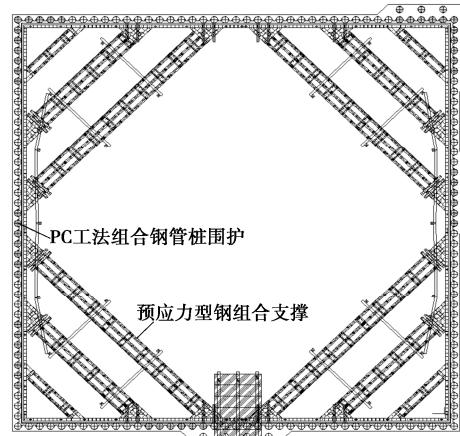


图4 低碳支护方案平面图

Fig. 4 Plan diagram of low carbon support scheme

2 碳排放计算理论

2.1 深基坑碳排放生命周期

目前，国内外学者对建筑全寿命周期的定义已达成共识，包括建筑材料生产及运输阶段、建造施工阶段、运行阶段、建筑拆除处置阶段^[5]。然而，对于深基坑工程生命周期而言，由于不同研究人员的假设与限定条件不同，使得阶段划分、系统边界等差异很大，

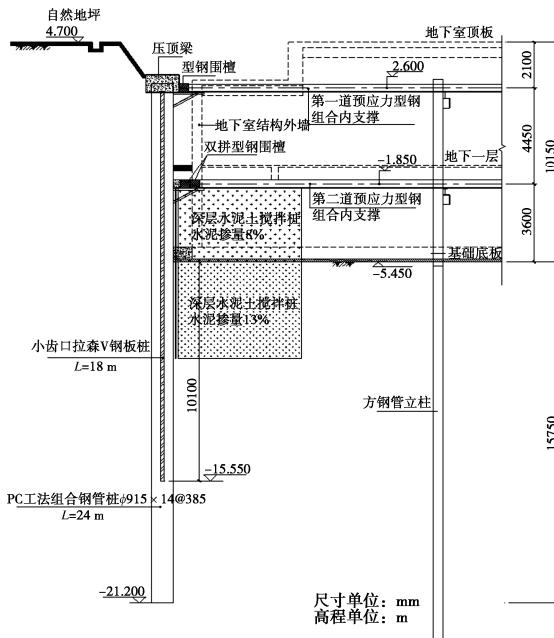


图 5 低碳支护方案剖面图

Fig. 5 Section diagram of low carbon support scheme

缺乏统一、规范的统计半径和系统框架, 部分学者有意或无意地忽略了如建材生产、构件运输等物化阶段或支撑拆解、废弃处理等消纳阶段碳排放的影响, 造成研究结果不完整、不科学。深基坑支护体系作为地下工程施工的临时性挡土隔水支承结构, 当地下工程施工结束就意味着其使命的结束, 因此基坑工程不存在独立运行阶段。根据生命周期评价理论, 结合其实施特点与施工工艺, 深基坑碳排放生命周期可以按材料生产、现场施工以及回筑拆除三个阶段进行划分, 各阶段的分级系统框架组成如图 6 所示。

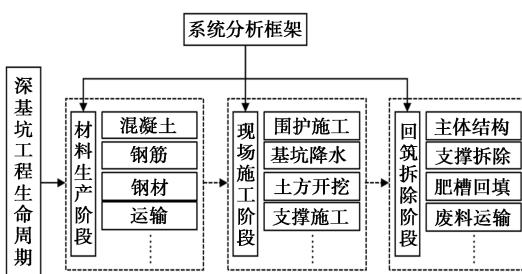


图 6 深基坑工程生命周期框架

Fig. 6 Life cycle framework for deep foundation pit engineering

关于深基坑工程生命周期总碳排放 C 计算边界的确定, 可以从时间边界、生产要素边界以及空间边界 3 个方面着手。在时间边界上涉及材料生产阶段 (C_1)、现场施工阶段 (C_2) 及回筑拆除阶段 (C_3), 即 $C=C_1+C_2+C_3$; 在生产要素边界上包括材料、机械、人员; 在空间边界上可划分为先由场外到场内、再由场内到场外。深基坑工程碳排放计算边界如图 7 所示。

2.2 碳排放因子计算方法

深基坑工程生命周期碳排放量可根据《建筑碳排

放计算标准》^[6]及相关工程定额^[7,8]进行计算, 计算公式如表 1 所示。各阶段各分项的碳排放因子选用依据《建筑碳排放计算标准》及本文中相关参考文献。

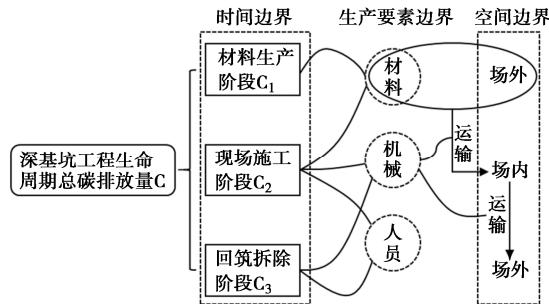


图 7 碳排放计算边界

Fig. 7 Calculation boundary for carbon emission

表 1 各阶段碳排放计算公式

Table 1 Formulae for calculating carbon emissions at each stage

阶段	计算公式	释义
材料生产	$C_{sc} = \sum_{i=1}^n M_i F_i$	C_{sc} 为建材生产碳排放(kgCO ₂ e) M_i 为第 i 种主要建材消耗量(t 或 m ³) F_i 为第 i 种建材碳排放因子(kgCO ₂ e/单位建材数量)
材料运输	$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i$	C_{ys} 为建材运输碳排放(kgCO ₂ e) M_i 为第 i 种建材消耗量(t 或 m ³) D_i 为第 i 种建材平均运输距离(km) T_i 为第 i 种建材平均运输方式下单位重量运输距离的碳排放因子(kgCO ₂ /t·km)
现场施工	$C_{jz} = \sum_{i=1}^n E_{jz,i} EF_i$	C_{jz} 为现场施工阶段碳排放(kgCO ₂ e) $E_{jz,i}$ 为现场施工阶段第 i 种能源总用量(kW·h 或 kg) EF_i 为第 i 种能源碳排放因子(kgCO ₂ e/kW·h 或 kgCO ₂ e/kg)
回筑拆除	$C_{cc} = \sum_{i=1}^n E_{cc,i} EF_i$	C_{cc} 为回筑拆除阶段碳排放(kgCO ₂ e) $E_{cc,i}$ 为回筑拆除阶段第 i 种能源总用量(kW·h 或 kg) EF_i 为第 i 种能源碳排放因子(kgCO ₂ e/kW·h 或 kgCO ₂ e/kg)

3 深基坑碳排放计算

在深基坑碳排放量计算中, 由于基坑降水、土方开挖、结构回筑等工序在两个对比方案中重复存在, 故不作为计算内容以方便结果分析。

3.1 混凝土常规支护体系碳排放计算

(1) 材料生产阶段

钻孔灌注桩结合三轴水泥土搅拌桩围护结构的建材主要为混凝土、钢筋及水泥, 灌注桩对应的钢筋用量按每方 0.157 t 计算, 三轴搅拌桩对应的水泥用量按每方 0.36 t 计算。经计算, 混凝土消耗量 2653 m³, 钢筋消耗量 416 t, 水泥消耗量 2081 t, 围护结构生产材料的碳排放量为 3286777 kgCO₂e, 运输材料的碳排放量为 155820 kgCO₂e, 围护结构在材料生产阶段的

碳排放量为 3442597 kgCO₂e。

钢筋混凝土支撑在材料生产阶段涉及的主要分项为混凝土、钢筋及模板。经计算, 混凝土消耗量 1100 m³, 钢筋消耗量 143 t, 模板消耗量 187 m³, 钢筋混凝土支撑生产材料的碳排放量为 780080 kgCO₂e, 运输材料的碳排放量为 28290 kgCO₂e, 钢筋混凝土支撑在材料生产阶段的碳排放量为 808370 kgCO₂e。

所涉及主要建筑材料的碳排放因子如表 2 所示。

表 2 主要建筑材料碳排放因子 F_i (kgCO₂e/单位建材)

Table 2 Carbon emission factor F_i for main building materials

分项	混凝土/m ³	钢筋/t	水泥/t	木材/m ³
碳排放因子	295	2340	735	178

考虑商品混凝土多于当地采购, 故混凝土的默认运输距离为 40 km, 其他建材的默认场外运输距离为 500 km; 采用的交通方式选用中型汽油货车 (载重 80 kN), 其碳排放因子为 0.115 kgCO₂e/(t·km)。

(2) 现场施工阶段

现场施工碳排放按照主要分项工程进行计算, 围护结构涉及钻孔灌注桩和三轴水泥土搅拌桩, 其台班数结合工程定额及项目施工方案进行统计, 所用机械能源包括电、汽油和柴油。经计算, 围护结构在现场施工阶段的碳排放量为 155694 kgCO₂e。

钢筋混凝土支撑在现场施工阶段的分项工程主要为混凝土工程、钢筋工程及模板工程, 所用机械能源均为电。经计算, 钢筋混凝土支撑在现场施工阶段的碳排放量为 32196.2 kgCO₂e。

所涉及分项工程能源消耗量和主要能源碳排放因子分别如表 3~5 所示。

表 3 钻孔灌注桩围护施工能源消耗量 $E_{jz,i}$ (kW·h 或 kg)

Table 3 Energy consumption $E_{jz,i}$ for construction of bored pile

分项	施工机械	能源消耗量
钻孔灌注桩	履带式旋挖钻机	16122
	钢筋调直机	321
	钢筋弯曲机 40 mm	960
	钢筋切断机 40 mm	1220
	交流弧焊机 32 kV·A	9653
	电动单筒慢速卷扬机 30 kN	173
三轴水泥土 搅拌桩	履带式起重机	3214
	三轴搅拌桩机	2346
	灰浆搅拌机	155
	灰浆输送泵	213
内燃单级离心清水泵		30

(3) 回筑拆除阶段

由于围护结构施工后即无法拆除, 故回筑拆除阶段碳排放量为零。

钢筋混凝土支撑拆除时, 切割需用到电动空气压缩机为动力, 切割后利用自升式塔式起重机进行场内搬运, 经计算, 所产生的总碳排放量为 34083.6

kgCO₂e。此外, 支撑所消耗混凝土和钢筋按废弃考虑, 外运废渣产生碳排放量为 21838.5 kgCO₂e。因此, 回筑拆除阶段碳排放总量为 55922.1 kgCO₂e。

表 4 钢筋混凝土支撑施工能源消耗量 $E_{jz,i}$ (kW·h)

Table 4 Energy consumption $E_{jz,i}$ for construction of reinforced concrete support

分项	施工机械	能源消耗量/ (kW·h)
混凝土工程	混凝土插入式振捣器 500L	2208
	混凝土运输泵 75 m ³ /h	5151.4
钢筋工程	钢筋调直机	4319.7
	钢筋弯曲机 40 mm	4224
	钢筋切断机 40 mm	3531
	交流弧焊机 32 kV·A	27800.6
	电动单筒慢速卷扬机 30 kN	86.3
	自升式塔式起重机	3325.8
模板	木工圆锯机 500 mm	5808

表 5 主要能源碳排放因子 EF_i (kgCO₂e/单位能源)

Table 5 Carbon emission factor EF_i for main energy

分项	电/kWh	汽油/kg	柴油/kg
碳排放因子	0.5703	1.0	9.0

综上, 深基坑生命周期的钻孔灌注排桩围护总碳排量为 3598291 kgCO₂e, 钢筋混凝土支撑总碳排量为 896488 kgCO₂e, 混凝土常规支护体系生命周期总碳排放量为 4494779 kgCO₂e。

3.2 全钢质低碳支护体系碳排放计算

(1) 材料生产阶段

PC 工法桩为全钢质围护结构, 构件组成主要为圆形螺旋埋弧焊管及拉森钢板桩, 经计算, 材料消耗量分别为 1461, 220 t, 围护结构生产材料的碳排放量为 4202020 kgCO₂e, 运输材料的碳排放量为 108425 kgCO₂e。由于钢材为可周转材料, 单次使用的碳排放量可考虑其重复使用次数进行摊销。参考国外工程应用情况及中国产业现状, 将 PC 工法桩按重复使用 20 次考虑, 则单次使用的碳排放量为 210101 kgCO₂e, 围护结构在材料生产阶段的碳排放量为 318526 kgCO₂e。

预应力型钢组合支撑在建材生产阶段涉及的构件包括 H 型钢支撑杆件、钢盖板、钢围檩、高强螺栓、托座等, 均为钢质构件, 经计算, 材料消耗量总计为 440 t, 型钢组合支撑生产材料的碳排放量为 1034000 kgCO₂e, 运输材料的碳排放量为 22880 kgCO₂e。考虑钢支撑的重复使用次数为 30 次, 则单次的材料生产碳排放量为 34467 kgCO₂e, 型钢组合支撑在材料生产阶段的碳排放量为 57347 kgCO₂e。

所涉及主要建筑材料的碳排放因子如表 6 所示。

材料运输采用重型柴油货车 (载重 100 kN), 其

碳排放因子为 $0.162 \text{ kgCO}_2\text{e}/(\text{t}\cdot\text{km})$, 默认运输距离为 500 km。

表 6 主要建筑材料碳排放因子 F_i ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{单位建材}$)

Table 6 Carbon emission factor F_i for main building materials

分项	螺旋埋弧 焊管/t	拉森钢板桩/ t	热轧碳钢 H 型钢/t
碳排放因子	2520	2365	2350

(2) 现场施工阶段

PC 工法桩在现场施工阶段布置一台液压打桩机及一台履带式起重机, 能源消耗量分别为 4186, 16071 kg, 所用机械能源均为柴油。经计算, 围护结构在现场施工阶段的碳排放量为 182310 kgCO₂e。

预应力型钢组合支撑各构件之间主要采用高强螺栓连接, 局部采用焊接。现场施工阶段的碳排放量主要来自吊装及少量焊接, 坑外采用汽车式起重机吊装, 坑内由挖机进行现场安装施工。经计算, 型钢组合支撑在现场施工阶段的碳排放量为 50062 kgCO₂e。

所涉及分项工程能源消耗量和主要能源碳排放因子分别如表 7, 8 所示。

表 7 PC 工法桩施工能源消耗量及碳排放因子

Table 7 Energy consumption and carbon emission factors of PC pile

施工机械	能源用量 $E_{jz,i}$ / kg	碳排放因子 EF_i / ($\text{kgCO}_2\cdot\text{kg}$)
震动沉拔桩机	4185.7	9
履带式起重机	16071.0	9

表 8 型钢组合支撑施工能源消耗量及碳排放因子

Table 8 Energy consumption and carbon emission factors of steel support

施工机械	能源用量 $E_{jz,i}$ / (kW·h)或 kg	碳排放因子 EF_i / kgCO_2/kWh 或/kg
汽车式起重机	2865.52	9
履带式液压挖掘机	2290.24	9
交流弧焊机	1930.6	0.5703
液压千斤顶	4488	0.5703

(3) 回筑拆除阶段

PC 工法桩在回筑拆除阶段同样采用震动沉拔桩机将围护桩拔出, 计及建材的场外运输回收, 故回筑拆除阶段围护结构的碳排放量为 290712 kgCO₂e。

预应力型钢组合支撑在回筑拆除阶段主要使用汽车式起重机进行卸解吊装, 计及外部运输产生的碳排放, 则型钢组合支撑在回筑拆除阶段的碳排放量为 48670 kgCO₂e。

综上, 深基坑生命周期的 PC 工法桩围护总碳排量为 791548 kgCO₂e, 预应力型钢组合支撑总碳排量为 156079 kgCO₂e, 全钢质低碳支护体系生命周期总碳排放量为 947627 kgCO₂e。

4 基坑方案综合分析

4.1 碳排放量对比

图 8 为钻孔灌注排桩围护与 PC 工法桩围护在深基坑生命周期各阶段碳排放量对比图。可见, 钻孔灌注排桩的碳排放主要来自于材料生产阶段, 达到总碳排放量的 91.3%; 由于钻孔灌注排桩在基坑施工完成后无法回收, 故其回筑拆除阶段碳排放量为零。相比之下, PC 工法桩在各阶段碳排放量相对均衡, 其在材料生产阶段的碳排放量仅为钻孔灌注排桩的 6.4%, 在深基坑生命周期总碳排放量约为钻孔灌注排桩的 22%。

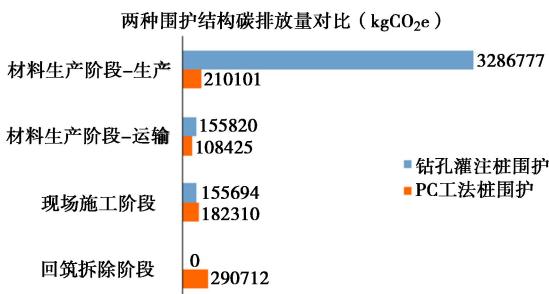


图 8 围护结构碳排放对比

Fig. 8 Comparison of carbon emissions from enclosure structures

图 9 为钢筋混凝土支撑与预应力型钢组合支撑在深基坑生命周期各阶段的碳排放量对比图。同样, 钢筋混凝土支撑在材料生产的碳排放量占比最大, 达到总碳排放量的 89.2%。相比之下, 预应力型钢组合支撑在各阶段碳排放量相对均衡, 其在材料生产阶段的碳排放量仅为钢筋混凝土支撑的 4.4%, 在深基坑生命周期总碳排放量约为钢筋混凝土支撑的 17.8%。

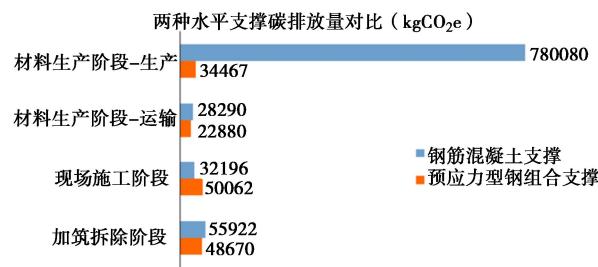


图 9 水平支撑碳排放对比

Fig. 9 Comparison of carbon emissions from horizontal support

据统计, 本基坑工程采用混凝土常规支护体系和全钢质低碳支护体系的深基坑生命周期碳排放总量分别为 4494779, 947627 kgCO₂e, 后者仅为前者的 21%。可见, 采用 PC 工法桩围护结合预应力型钢组合支撑的全钢质支护体系具有显著的减碳优势。

4.2 减碳措施分析

从上述分析可见, 全钢质低碳支护体系由于采用可周转材料, 构件可在回收处理后多次重复利用, 因

此摊销到单次工程的建材生产碳排放量远远小于一次性的混凝土常规支护体系，进而减少了基坑生命周期碳排放量。从这点来看，若能增加全钢质支护结构的重复使用次数，则可进一步减少碳排放量，达到更大程度的减碳效果。

另外，全钢质支护体系在运输、施工及拆除阶段，使用了较多柴油能源的机械及车辆，柴油能源碳排放因子较大，且钢构件的默认运输距离 500 km 也较远，这两点皆可引起深基坑碳排放量增大。因此，若要进一步减少全钢质支护体系碳排放量，可考虑优选低碳能源的机械设备及车辆，并缩短建材运输距离等方法。

4.3 经济社会效益分析

全钢质低碳支护体系除了减碳效果显著外，其在经济社会效益上也极具优势。

由于无需大规模养护，全钢质支护体系从围护桩施工至开挖到基底仅用时 75 d，相比混凝土支护体系缩短 96 d，大幅减少了工程工期。在造价方面，PC 工法桩相比钻孔灌注排桩降低约 25% 成本，预应力型钢组合支撑相比钢筋混凝土支撑节省约 35% 成本。

由于全钢质支护体系的可回收性，基坑施工能减少近 90% 的建筑垃圾。此外，钢支撑构件通过高强螺栓连接，装配率高达 99%，拆除时无爆破或切割，有效降低了对周边环境的粉尘、噪音污染。

5 结语

实现碳达峰、碳中和的“双碳”目标是中国生态文明建设的宏伟战略，笔者积极响应国家战略要求，研究推广 PC 工法组合钢管桩围护结合预应力型钢组合支撑构成的全钢质低碳支护体系在深基坑工程领域的应用。本文基于深基坑工程碳排放生命周期理论，通过对全钢质低碳支护方案和混凝土常规支护方案碳排放量的计算与对比，得到定量分析结果：全钢质支护体系的基坑生命周期总碳排放量为混凝土支护体系的 21%，通过增加重复使用次数、选择低能耗机械、缩短运输距离等措施，可进一步减少全钢质支护体系的碳排放量。全钢质低碳支护体系除了减碳效果显著外，其在经济社会效益上也极具优势，不仅能大幅缩短工程工期、降低项目成本，还能有效减少建筑垃圾的产生和周边环境污染。

参考文献：

[1] 贺晓彤. 城市轨道交通明挖车站建设碳排放计算及主要影

- 响因素分析[D]. 北京: 北京交通大学, 2015. (HE Xiaotong. Calculation of Carbon Emission and Analysis of Main Influencing Factors in the Construction of Open-cut Stations in Urban Rail Transit[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015. (in Chinese))
- [2] 潘毅群, 梁育民, 朱明亚. 碳中和目标背景下的建筑碳排放计算模型研究综述[J]. 暖通空调, 2021, 51(7): 37-48. (PAN Yiqun, LIANG Yumin, ZHU Mingya. Review of building carbon emission calculation models in context of carbon neutrality[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2021, 51(7): 37-48. (in Chinese))
- [3] 中国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会. 2022 中国建筑能耗与碳排放研究报告[R]. 重庆: 国建筑节能协会建筑能耗与碳排放数据专委会, 2022. (The Special Committee on Building Energy Consumption and Carbon Emission Data of the National Building Energy Conservation Association 2022 China Building Energy Consumption and Carbon Emission Research Report[R]. Chongqing: The Special Committee on Building Energy Consumption and Carbon Emission Data of the National Building Energy Conservation Association, 2022. (in Chinese))
- [4] 上海市基坑工程管理办法. 沪住建规范[2019]4 号.上海市住房城乡建设管理委员会, 2019. (Shanghai Municipal Management Measures for Foundation Pit Engineering. Shanghai Housing and Construction Standards [2019] No. 4. Shanghai Housing Renting and Urban Rural Construction Management Committee, 2019. (in Chinese))
- [5] HOUGHTON J T, JENKINS G J, EPHRAUMS J J. Climate change: the IPCC scientific assessment[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- [6] 建筑碳排放计算标准: GB/T 51366—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019. (Calculation Standard for Building Carbon Emissions: GB/T 51366—2019[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2019. (in Chinese))
- [7] 全国统一施工机械台班费用定额: JTGT3822—2018[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018. (National Unified Construction Machinery Team Cost Quota: JTGT3822—2018[S]. Beijing: People's Transportation Press, 2018. (in Chinese))
- [8] 全国统一建筑工程基础定额: GJD101—95[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995. (National Unified Construction Engineering Foundation Quota: GJD101—95[S]. Beijing: China Planning Press, 1995. (in Chinese))

(编校: 孙振远)